

平成16年度技術士第二次試験問題（原子力・放射線部門）

必須科目 （20） 原子力・放射線一般

Ⅱ－1 次の20問題のうち15問題を選んで解答せよ。（解答欄に1つだけマークすること。）

Ⅱ－1－1 発電用原子炉システムの構成について述べた次の記述のうち，誤っているものを選び。

- ① 原子炉システムは必ず核分裂により熱を発生させる原子炉系とその発生熱を系外へ取り出す熱除去系とを構成要素として持っている。
- ② 原子炉は核分裂の連鎖反応による臨界の維持をエネルギーの低い熱中性子に依存する原子炉は熱中性子炉と呼ばれ，エネルギーの高い高速中性子に依存する原子炉は高速中性子炉と呼ばれている。
- ③ 熱中性子炉は必ず減速材を持っており，それが軽水の場合には軽水減速炉，重水の場合には重水減速炉，黒鉛の場合に黒鉛減速炉と呼ばれており，世界で最初に実用化された原子炉は黒鉛減速炉である。
- ④ 現在，実用化され世界的に最も普及している原子炉は軽水減速炉であり，現在は低濃縮ウランが燃料として用いられているが，この原子炉でも構造材に中性子の吸収の小さい材料を選択して使用すれば，天然ウラン燃料使用の原子炉としても利用可能である。
- ⑤ 高速中性子炉はもともとプルトニウムを燃料として用いることによる，燃料の増殖を意図してその開発が進められてきたものの，開発途上で各種の技術的及び経済的な課題のため，世界的にその開発が停滞し，実用化が遅れている。

Ⅱ－１－２ 原子炉体系ではその体系内の中性子の活性の度合は実効増倍係数（ k ）の大きさを表現される。更に、その体系の反応度（ ρ ）が実効増倍係数の１からのずれとして定義されている。即ち、

$$\rho = (k - 1) / k$$

従って、ある原子炉体系で実効増倍係数が k_1 の状態から k_2 の状態に変化した時の反応度の変化（ $\Delta \rho$ ）は次式で計算されることになる。

$$\Delta \rho = (k_2 - k_1) / (k_1 \cdot k_2)$$

今、ある原子炉体系で実効増倍係数を評価したところ、その値は0.975であった。この原子炉体系を正確に臨界にするには、別途正の反応度を加えることが必要になる（例えば、燃料の追加等）が、この時加えるべき正確な反応度を次の中から選べ。

- ① 2.48% $\Delta k/k$
- ② 2.50% $\Delta k/k$
- ③ 2.56% $\Delta k/k$
- ④ 2.73% $\Delta k/k$
- ⑤ 2.75% $\Delta k/k$

Ⅱ－１－３ 次の文章は「軽水型動力炉の非常用炉心冷却系の性能評価指針」の「基準」に関する記述である。（燃料被覆管はジルカロイ製である。）

非常用炉心冷却系（ECCS）は、配管等の破断による原子炉冷却材喪失時に、炉心の冷却可能な形状を維持しつつ、事故を収束させる機能及び性能を有しなければならない。このことを確認するため、想定冷却材喪失事故の解析を行い、次の基準を満足することを示さなければならない。

- （１）燃料被覆の温度の計算値の最高値は、（ア）以下であること。
- （２）燃料被覆の化学量論的酸化量の計算値は、酸化反応が著しくなる前の（イ）の15%以下であること。
- （３）炉心で燃料被覆及び構造材が水と反応するのに伴い発生する（ウ）の量は、格納容器の健全性の見地から、十分低い値であること。
- （４）燃料の形状の変化を考慮しても、（エ）が長期間にわたって行われることが可能であること。

文中の（ア）、（イ）、（ウ）、（エ）に記入する字句として正しいものの組合せは下表のうちのどれか。

解答の組合せ表

	（ア）	（イ）	（ウ）	（エ）
①	800℃	燃料棒質量	酸素	崩壊熱の除去
②	800℃	被覆管厚さ	水素	核的反応の停止
③	1,000℃	燃料棒質量	水素	核的反応の停止
④	1,200℃	被覆管厚さ	水素	崩壊熱の除去
⑤	1,200℃	燃料棒質量	酸素	崩壊熱の除去

Ⅱ－１－４ 原子炉施設の安全設計審査指針ではプラントの状態として、「通常運転」、「異常状態」、「運転時の異常な過渡変化」、「事故」の状態が定義されており、また、「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」では「運転状態」としてⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳが定義されて構造設計に反映されている。「運転状態」に関する次の記述のうち正しいものを選び。

- ① 設備の最高使用圧力はその区分によって定められ、第一種容器（原子炉圧力容器など）の最高使用圧力は運転状態Ⅱの状態では受ける最高圧力以上と定められている。
- ② 設備の最高使用温度はその区分によって定められ、第二種容器（原子炉格納容器など）の最高使用温度は運転状態Ⅳの状態において生じる最高温度以上と定められている。
- ③ 設備の最低使用温度はその運転状態において生じる最低温度以下と定められており、試験状態では最低使用温度を下回る温度となっても良い。
- ④ 最も重要な第一種容器については、安全上の考慮から、発生頻度の稀な運転状態Ⅲにおいて生じる応力に対しても疲れ解析がなされなければならない。
- ⑤ 第二種容器には安全弁を設けて、運転状態Ⅳの過大な圧力に対しては安全弁を開放して構造健全性を保つように設計しなければならない。

Ⅱ－１－５ 高速増殖炉もんじゅに関する次の記述のうち、誤っているものを選び。

- ① 液体金属ナトリウムを冷却材として用いている。
- ② 原子炉容器はステンレス製である。
- ③ 冷却系ループは３ループである。
- ④ 蒸気発生器は、蒸発器と過熱器に分かれている。
- ⑤ 熱効率はPWRよりも悪い。

Ⅱ－１－６ 非破壊検査に関する次の記述のうち、正しいものを選び。

- ① 浸透探傷試験は、内部の傷を調べるために用いられる。
- ② 渦電流探傷試験は、表面の極浅い傷を調べるために用いられる。
- ③ 超音波探傷試験は、溶接部内部の傷を調べるために用いられる。
- ④ 放射線探傷試験は、主に供用期間中の原子炉容器に用いられる。
- ⑤ 磁粉探傷試験は、主に供用期間中の熱交換器に用いられる。

Ⅱ－１－７ 軽水冷却型発電用原子炉（PWR 及び BWR）の原子炉安全保護系の原子炉スクラム信号のうち、実際に用いられていないのはどれか。次の中から選べ。

- ① 中性子束高 ② 原子炉圧力高 ③ 格納容器放射能強
- ④ タービン停止 ⑤ 地震加速度大

Ⅱ－１－８ 原子炉は停止した後も、核分裂生成物の崩壊熱が存在する。長時間一定出力で運転後の崩壊熱を、近似的に以下の式に従うものとする。

$$P(t) = 0.622 P(0) t^{-0.20}$$

ここで $P(0)$ は運転時の原子炉出力 (kW)、 $P(t)$ は t sec 後の崩壊熱 (kW)。

熱出力 300 万 kW の原子炉を長時間運転後、原子炉を停止した。停止後 1.16 日の崩壊熱は、次のうちどれか。

- ① 1 万 kW 以下 ② 1 ～ 3 万 kW ③ 3 ～ 10 万 kW
- ④ 10 ～ 30 万 kW ⑤ 30 万 kW 以上

Ⅱ－１－９ 原子炉燃料に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- ① 二酸化ウランの融点は約 2800℃ である。
- ② MOX 燃料の融点は、二酸化ウランの融点より高い。
- ③ 高速炉用燃料ピンの直径が細いのは、比熱出力が高いためである。
- ④ 3 万 MWD/t 燃えた軽水炉使用済燃料中のプルトニウムの含有量は約 1 % である。
- ⑤ 3 万 MWD/t 燃えた軽水炉使用済燃料中の FP の含有量は約 3 % である。

Ⅱ－１－10 次の濃縮に関する説明の中で、誤っているものを選べ。

- ① 100 万 kWe 軽水炉に必要な濃縮役務量は約 120 tSWU/年 である。
- ② UF_6 は激しく加水分解する。
- ③ レーザ法の理論分離係数は ^{235}U と ^{238}U の質量差に依存する。
- ④ ガス拡散法の理論分離係数は ^{235}U と ^{238}U の質量比に依存する。
- ⑤ 遠心法の理論分離係数は ^{235}U と ^{238}U の質量差に依存する。

Ⅱ－１－１１ 使用済燃料について、誤っている記述を次の中から選べ。

- ① 使用済燃料が原子炉炉心から取り出されたばかりの時は、きわめて放射能が強いが、これを暫時放置すると放射能は崩壊（decay）により減少する。
- ② 使用済燃料を輸送したり、再処理したりする場合冷却してから行う。
- ③ 再処理の目的は使用済燃料中に含まれているウランとプルトニウムとを回収し、またFPを安全に処理することである。
- ④ 再処理するまでに要する冷却日数は、 ^{237}U 、 ^{131}I 、 ^{239}Np の崩壊を考慮して決定する。
- ⑤ 使用済燃料のプルトニウム組成は、燃焼度に従って変化せず同じである。

Ⅱ－１－１２ 使用済燃料管理について、誤っている記述を次の中から選べ。

- ① 半減期の短い分裂生成物元素は、比放射能が大きいから、再処理や照射後試験の際に特に注意が必要である。
- ② 核物質は自発核分裂を起こすから、分裂に伴う中性子線の影響も考慮しなければならない。
- ③ 強いアルファ放射体が軽元素と共存すると（ α , n）反応によって中性子線を発生する場合がある。
- ④ ^{239}Pu は、 ^{235}U よりも強いアルファ放射体である。
- ⑤ ^{241}Pu の半減期は、 ^{235}U の半減期よりも長い。

Ⅱ－１－１３ 真空中を高速で直進している電子の進行方向が変化した時に放出される放射線は次のうちどれか。

- ① 制動放射線 ② 特性X線 ③ レーザー光線
- ④ チェレンコフ放射光 ⑤ シンクロトロン放射光

Ⅱ－１－１４ 次の文章のうち、間違っているものを選べ。

- ① α 線は一般に空気中の飛程が約4 cmなので、薄いシンチレータで測定される。
- ② δ 線は電子の電離によるエネルギー損失の過程で放出される。
- ③ γ 線がエネルギー損失をする過程にはレーレー散乱は含まれない。
- ④ 熱中性子はカドミウムを被せた金箔を用いて測定される。
- ⑤ 高速中性子の遮蔽に鉛を用いると、かえって中性子が増えることがある。

Ⅱ－１－１５ X線や γ 線のエネルギーが物質に吸収される過程で起こるコンプトン効果に関する次の記述の中で間違っているものを選び。

- ① 0.1MeVの光子と炭素の相互作用は主にコンプトン効果で起こる。
- ② 0.1MeVの光子と鉛の相互作用ではコンプトン効果はほとんど起こらない。
- ③ 1.0MeVの光子と炭素の相互作用は主にコンプトン効果で起こる。
- ④ 1.0MeVの光子と鉛の相互作用は主にコンプトン効果で起こる。
- ⑤ 10MeVの光子と炭素と鉛の相互作用は主にコンプトン効果で起こる。

Ⅱ－１－１６ X線や γ 線の細胞に対する影響に関する次の記述のうち、間違っているものを選び。

- ① 含水細胞の方が乾燥状態の細胞よりも放射線感受性が高い。
- ② 細胞分裂をしている細胞はしていない細胞よりも放射線感受性が高い。
- ③ DNA含量の少ない細胞の方が多い細胞よりも放射線感受性が高い。
- ④ 酸素がある方が無酸素状態の細胞よりも放射線感受性が高い。
- ⑤ 凍結状態の細胞よりも非凍結状態の細胞の方が放射線感受性が高い。

Ⅱ－１－１７ 放射線影響・障害について記述した次の文章のうち不適切なものはどれか。

- ① 生殖腺（精巣，卵巣）に被ばくを受けた場合に発生する不妊は確率的影響である。
- ② 放射線影響は，多量の放射線を受けた場合を除き，被ばくしてから影響が現れるまでに潜伏期間が存在し，放射性誘発がんの潜伏期間は数十年におよぶものもある。
- ③ 被ばくしてから，数週間以内に現れる影響が早期影響であり，骨髓障害は早期影響に分類される。
- ④ 確率的影響とは，しきい線量が存在しないと仮定されている影響で，被ばく線量の増加とともに重篤度は変わらないが，発生確率が増加すると考えられている。
- ⑤ 確定的影響に対する放射線感受性の程度はしきい線量で表される。

Ⅱ－１－１８ 国際放射線防護委員会（ICRP）1990年勧告で、放射線防護の対象となる被ばく及び線量限度に関する次の記述で誤った表現を選べ。

- ① 被ばくは職業被ばく、医療被ばく、公衆被ばくの3つのカテゴリーに区分されている。
- ② 生物医学研究の際のボランティア（被験者）としての被ばくは医療被ばくである。
- ③ 放射線診療を受ける患者の付添と介護をする個人（職業人を除く）が承知の上で自発的に受ける被ばくは医療被ばくではない。
- ④ 公衆被ばくの線量限度は実効線量で1 mSv/年である。
- ⑤ 医療被ばくには線量限度は適用されない。

Ⅱ－１－１９ バイオアッセイ法を用いた体内放射能の測定と評価に関して誤っているものを次の中から選べ。

- ① バイオアッセイ法の対象となるものは主に、尿、糞であるが、鼻汁、血液、痰、呼気も使用されることがある。
- ② バイオアッセイ法は α 線あるいは β 線のみしか放出せず、体外計測法の適用が困難な核種に有効な方法である。
- ③ バイオアッセイ法の対象となる核種は ^3H 、 ^{90}Sr 、 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu などである。
- ④ 鼻汁、血液、痰、呼気などは、摂取量を評価するための代謝モデルや経験則が一部の核種を除けば、一般的にはまだ整備されていない。
- ⑤ 超ウラン元素はすべてバイオアッセイでないと測定できない。

Ⅱ－１－２０ GM計数装置で、ある β 線源とバックグラウンドをそれぞれ1分ずつ測定したところ、 β 線源の計数値は6,600カウント、バックグラウンドは300カウントであった。この測定の全計数効率を10%として、その β 線源の放射能（Bq）と標準偏差に最も近い値は、次のうちどれか。

- ① 105 ± 1.4 ② $1,050 \pm 14$ ③ $1,050 \pm 83$
- ④ $6,300 \pm 83$ ⑤ 630 ± 8.3